

# Antena SIW dengan *Defected Ground Structure* pada Frekuensi *L-Band*

## (*SIW Antenna Using Defected Ground Structure for L-Band Frequency*)

Mia Maria Ulfah<sup>1</sup>, Achmad Munir<sup>2</sup>

**Abstract**—In this paper, a bandwidth enhancement technique for Substrate Integrated Waveguide (SIW) antenna is attempted using Defected Ground Structure (DGS) by modifying the shape and geometry of the slot on the ground plane. In order to achieve wide bandwidth response of the antenna, a rectangular split ring incorporated with a cross shape slots are employed as DGS. The quality factor ( $Q$ ) of antenna increases as the substrate thickness decreases, which leads to narrow down bandwidth response of the SIW antenna. Therefore, the SIW antenna is simulated using multiple layers of FR4 epoxy dielectric substrate in overcoming the problem. The SIW antenna has a dimension of 171 mm  $\times$  160.5 mm, 4.905 mm-height, and is intended to work at the center frequency of 2 GHz. Furthermore, the SIW antenna is excited by proximity coupling method which is connected to a 50  $\Omega$  connector. Simulation result shows that the 575 MHz bandwidth could be achieved by the antenna with the proposed technique, in which the -10 dB bandwidth response is ranged from the frequency of 1.675 GHz – 2.25 GHz and the maximum gain is 6.03 dBi at the frequency of 1.85 GHz, with bidirectional radiation pattern.

**Intisari**—Pada makalah ini, teknik untuk meningkatkan lebar pita pada antena *Substrate Integrated Waveguide* (SIW) dilakukan dengan menggunakan *Defected Ground Structure* (DGS) dengan cara memodifikasi bentuk dan ukuran *slot* tertentu pada bagian *ground plane*. Kombinasi antara *slot split ring* berbentuk persegi panjang dan *slot* berbentuk silang (X) sebagai DGS ditambahkan untuk mendapatkan karakteristik antena pita lebar. Substrat yang tipis dapat meningkatkan faktor kualitas ( $Q$ ) yang berakibat pada sempitnya lebar pita antena. Untuk mengatasi hal tersebut, antena SIW disimulasikan dengan menggunakan substrat dielektrik yang tebal. Dimensi total antena SIW adalah sebesar 171 mm  $\times$  160,5 mm dengan ketebalan 4,905 mm dan beroperasi pada frekuensi tengah 2 GHz. Antena SIW dicatu menggunakan teknik *proximity coupling* yang dihubungkan dengan konektor berimpedans 50  $\Omega$ . Hasil simulasi menunjukkan bahwa lebar pita sebesar 575 MHz diperoleh antena dengan teknik yang diusulkan, dengan lebar pita -10 dB dari rentang frekuensi 1,675 GHz - 2,25 GHz, gain maksimum sebesar 6,03 dBi pada frekuensi 1,85 GHz, dan pola radiasi *bidirectional*.

**Kata Kunci**—Antena, *Substrate Integrated Waveguide* (SIW), *Defected Ground Structure* (DGS), Pita Lebar, *Proximity Coupling*.

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan 35365 INDONESIA (telp: 0721-8030188; e-mail: mia.ulfah@tt.itera.ac.id)

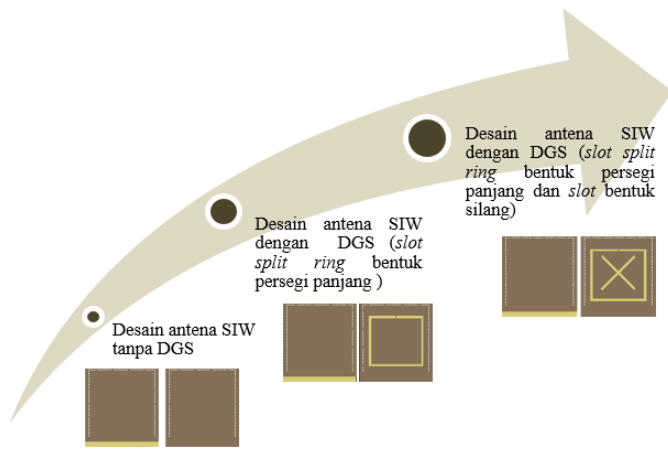
<sup>2</sup> Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung 40132 INDONESIA (telp: 022-2501661; e-mail: munir@ieee.org)

### I. PENDAHULUAN

Seiring tren teknologi *wireless* yang semakin berkembang secara cepat, antena dengan karakteristik pita lebar, *low profile*, biaya produksi yang efisien, dan mudah terintegrasi dengan saluran planar lain sangat diperlukan untuk banyak aplikasi yang memerlukan kecepatan data tinggi. Antena *Substrate Integrated Waveguide* (SIW) adalah salah satu antena yang dapat memenuhi kriteria di atas terkecuali memiliki pita yang sempit. Konfigurasi antena SIW yang *low profile* dan faktor kualitas ( $Q$ ) yang tinggi menyebabkan lebar pita menjadi sempit. Faktor kualitas ( $Q$ ) ini bergantung pada ketebalan substrat, yaitu substrat tipis akan menghasilkan faktor kualitas yang tinggi dan berdampak pada lebar pita yang sempit [1].

Pada awalnya, metode SIW, yang diperkenalkan pada tahun 2005 [2], memiliki konstruksi mirip dengan *laminated* dan *post-wall waveguide* [3], [4]. Latar belakang penggunaan metode SIW didasari oleh kekurangan *waveguide*, yang meliputi ukurannya yang besar, biaya produksi yang relatif tinggi, dan tidak mudah terintegrasi dengan rangkaian *planar* lain, sehingga menjadikan *waveguide* kurang cocok untuk banyak aplikasi. Pada dasarnya, struktur SIW terdiri atas deretan tabung dari logam, atau disebut juga dengan *via*, yang berperan sebagai dinding *waveguide*. *Via* tersebut ditanamkan pada substrat berbahan dielektrik dengan ketebalan dan *relative permittivity* tertentu yang dilapisi oleh logam pada bagian atas dan bawahnya. Dengan struktur tersebut, bentuk *non-planar* pada *waveguide* dapat diimplementasikan dalam bentuk *planar*. Secara praktis, realisasi SIW dapat menggunakan *Printed Circuit Board* (PCB).

Beberapa penelitian untuk mengatasi lebar pita yang sempit pada antena SIW telah dilakukan [5]-[10]. Dengan menempatkan *via* di atas antena *cavity* SIW, lebar pita terbukti dapat ditingkatkan hingga 60% dari lebar antena *cavity* SIW biasa [7]. Lebar pita antena juga dapat ditingkatkan dengan cara menghilangkan substrat pada bagian bawah *slot*, dengan tujuan untuk mengurangi *effective permittivity* dari *slot*, sehingga kapasitans *slot* menurun, yang mengakibatkan lebar pita antena dapat meningkat [8]. Teknik lainnya adalah dengan menggunakan *Defected Ground Structure* (DGS), yang terbukti merupakan teknik yang sederhana, tetapi efektif untuk meningkatkan kinerja antena [11]-[13]. Untuk mendapatkan antena pita lebar, *slot* diletakkan pada bagian *patch* dan *ground plane* [12]. DGS adalah salah satu teknik untuk meningkatkan lebar pita dengan cara memodifikasi bentuk dan ukuran *slot* pada *ground plane*. Dengan teknik DGS, diharapkan sempitnya lebar pita pada antena SIW dapat teratasi.



Gbr. 1 Tahapan desain antenna.

Makalah ini berisi perancangan dan simulasi antenna SIW pita lebar yang beroperasi pada frekuensi *L-band* dengan frekuensi tengah 2 GHz untuk aplikasi radar. Teknik DGS diimplementasikan dengan menggabungkan *slot split ring* berbentuk persegi panjang dengan *slot* berbentuk silang (X) pada *ground plane*. Kombinasi antara *slot split ring* berbentuk persegi panjang dengan *slot* berbentuk silang (X) tersebut diharapkan dapat memperlebar pita antenna SIW. Antena dicatu menggunakan teknik *proximity coupling* dengan beberapa lapis substrat, yang saluran pencatunya berada pada substrat bagian bawah, sedangkan *patch* berada pada substrat bagian atas. Untuk menunjukkan pengaruh DGS dalam peningkatan lebar pita antenna, kinerja antenna SIW tanpa DGS dibandingkan dengan kinerja antenna SIW dengan DGS seperti yang diusulkan pada makalah ini.

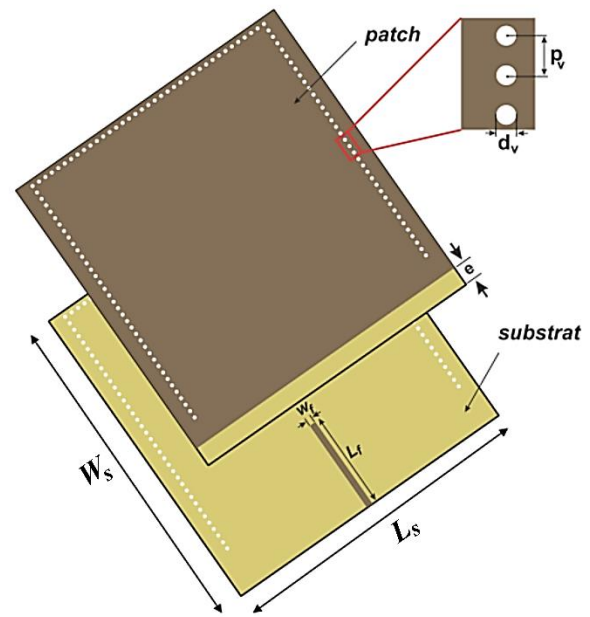
## II. DESAIN DAN SIMULASI ANTENA SIW

### A. Konfigurasi Antena

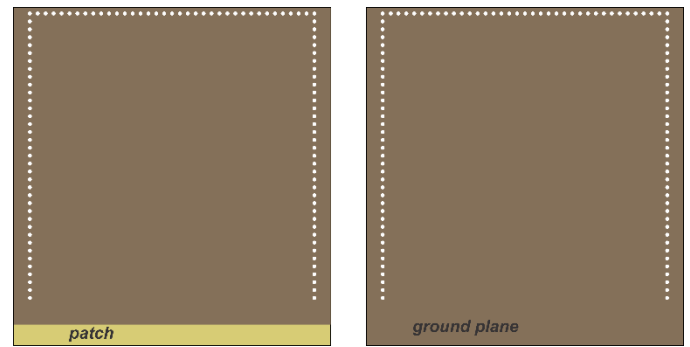
Proses pembuatan desain antenna meliputi parameter-parameter yang dihitung berdasarkan persamaan matematis. Desain antenna SIW ini terdiri atas tiga tahapan, yang meliputi desain antenna SIW tanpa DGS, desain antenna SIW dengan *slot split ring* berbentuk persegi panjang (dengan DGS), dan desain antenna SIW dengan kombinasi *slot split ring* berbentuk persegi panjang dan *slot* berbentuk silang (X), seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1. Untuk desain awal, yaitu desain antenna SIW tanpa DGS, digunakan desain pada penelitian sebelumnya karena desain tersebut menghasilkan antenna *multiband* [14]. Antena *multiband* dapat menjadi antenna dengan karakteristik pita lebar jika frekuensi resonansinya saling berdekatan. Hal tersebut dapat diwujudkan dengan memodifikasi bentuk saluran pencatu dan bentuk *slot* pada *ground plane*.

1) *Antena SIW tanpa DGS*: Bagian ini diawali dengan konfigurasi antenna SIW tanpa DGS. Metode SIW merupakan *waveguide* konvensional, tetapi dalam bentuk planar.

Pada SIW terdapat mode *Transverse Electric* (TE) seperti halnya pada *waveguide*. Pada mode  $TE_{mn}$ , dimensi SIW dapat dihitung berdasarkan frekuensi *cut-off* ( $f_{cmn}$ ), seperti pada (1), sesuai persamaan dimensi pada *waveguide* [15].



(a)



(b)

Gbr. 2 Desain antenna SIW, (a) tampak penuh, (b) tanpa DGS.

$$f_{cmn} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{W_s}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{h_t}\right)^2} \quad (1)$$

dengan  $W_s$  dan  $h_t$  secara berurutan adalah lebar dan tinggi antenna SIW,  $m$  dan  $n$  adalah orde,  $\mu_r$  adalah permeabilitas substrat,  $\epsilon_r$  adalah *permittivity* substrat, dan  $c$  adalah kecepatan cahaya di ruang hampa. Untuk mendapatkan antenna SIW yang bekerja pada mode dominan ( $TE_{10}$ ), lebar antenna ( $W_s$ ) dapat diturunkan dari (1).

$$W_s = \frac{c}{2f_{c10}\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \quad (2)$$

Terdapat beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam merancang antenna SIW, antara lain diameter *via* ( $d_v$ ), jarak antar pusat *via* atau disebut *pitch* ( $p_v$ ), lebar efektif SIW ( $W_{ef}$ ), tebal substrat ( $h_s$ ), dan *relative permittivity* substrat ( $\epsilon_r$ ) [16]. Jarak antara pusat *via* sebaris dengan pusat *via* baris terluar lain, atau biasa disebut lebar efektif SIW ( $W_{ef}$ ), diperoleh dengan menggunakan (3) [2].

$$W_{ef} = W_s - 1,08 \frac{d_v^2}{p_v} + 0,1 \frac{d_v^2}{W_s} \quad (3)$$

Sementara itu, untuk mencegah rugi-rugi radiasi, *pitch* dan diameter *via* harus memenuhi (4) dan (5) [17].

$$p_v \leq 2d_v \tag{4}$$

$$\frac{d_v}{\lambda_0} \leq 0,1 \tag{5}$$

dengan  $\lambda_0$  menyatakan panjang gelombang di ruang hampa.

Dalam perancangan antenna SIW ini, bahan substrat dielektrik yang digunakan adalah *FR4 epoxy* dengan *relative permittivity* ( $\epsilon_r$ ) sebesar 4,4 dan  $\tan(\delta)$  sebesar 0,02, dengan total ketebalan substrat ( $h_t$ ) sebesar 4,8 mm. Teknik pencatuan *proximity coupling* direalisasikan dengan saluran mikrostrip yang dihubungkan dengan konektor yang memiliki impedans karakteristik ( $Z_0$ ) sebesar 50  $\Omega$ . Dengan  $Z_0$  sebesar 50  $\Omega$  dan ketebalan masing-masing substrat ( $h_s$ ) sebesar 1,6 mm, maka perhitungan lebar saluran pencatu ( $w_f$ ) dapat menggunakan (6) [15].

$$\frac{w_f}{h_s} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \tag{6}$$

dengan  $A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right)$ .

Pada teknik pencatuan *proximity coupling*, saluran pencatu tidak terhubung langsung dengan *patch*, melainkan dengan proses *coupling* medan listrik. Saluran pencatu ini terletak di sisi atas substrat bawah, seperti ditunjukkan pada Gbr. 2(a). Desain awal, yaitu desain antenna SIW tanpa DGS, ditunjukkan pada Gbr. 2(b).

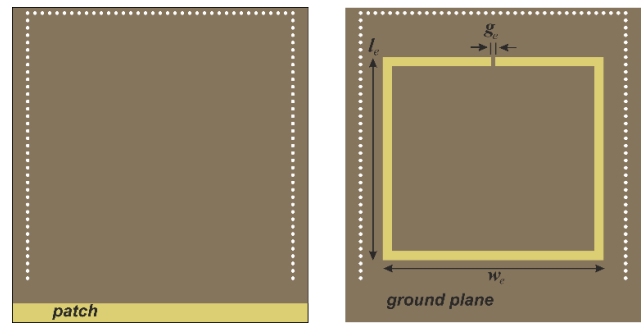
2) *Antena SIW dengan DGS*: Di bagian ini, konfigurasi antenna SIW tanpa DGS dimodifikasi dengan penambahan *slot* pada bagian *ground plane*. *Slot* pada bagian *ground plane*, atau dikenal juga dengan istilah DGS, merupakan suatu teknik untuk meningkatkan lebar pita. Saluran pencatu sebagai elemen pengeksitasi mengirim gelombang ke arah *ground plane* dan *patch* sebagai radiator. Gelombang yang mengalir ke arah *ground plane* tersebut kemudian dipantulkan kembali ke arah radiator, tetapi saat *slot* diletakkan pada bagian *ground plane*, *ground plane* tidak lagi berperan sebagai reflektor sepenuhnya karena sebagian gelombang mengalami kebocoran (*leaky wave*) melalui *slot* tersebut.

*Slot* yang pertama ditambahkan pada bagian *ground plane* adalah *slot split ring* berbentuk persegi Panjang, seperti yang diilustrasikan pada Gbr. 3. Selanjutnya, untuk optimasi karakteristik antenna, terkait nilai koefisien refleksi, *slot* silang berbentuk X ditambahkan seperti ditunjukkan pada Gbr. 4.

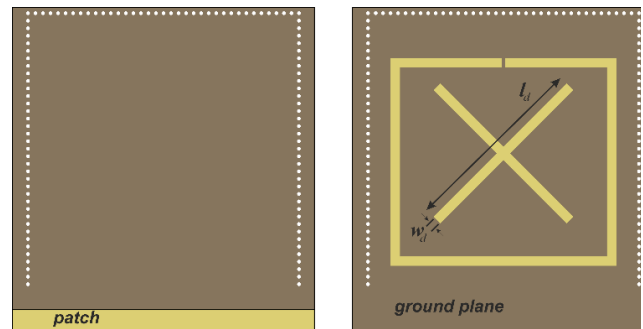
**B. Studi Parameter**

Studi parameter dilakukan melalui simulasi dengan bantuan perangkat lunak untuk melihat pengaruh DGS pada peningkatan lebar pita. Dalam proses optimasi dengan studi parameter ini, pada setiap perubahan suatu variabel, dimensi variabel lain disimpan sebagai nilai yang optimal.

Dari (1) dan (2) dengan frekuensi kerja yang diinginkan didapatkan ukuran lebar antenna SIW awal, yaitu sebesar 44,69 mm. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gbr. 5, dengan dimensi sesuai persamaan matematis, ternyata nilai



Gbr. 3 Desain antenna SIW dengan *slot split ring* berbentuk persegi panjang.



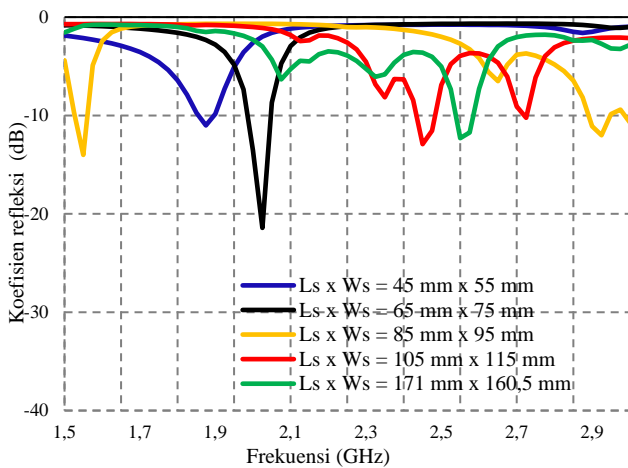
Gbr. 4 Desain antenna SIW dengan kombinasi *slot split ring* berbentuk persegi panjang dan *slot* berbentuk silang.

koefisien refleksi pada frekuensi kerja belum memenuhi nilai yang diinginkan. Sesuai (1) dan (2), parameter frekuensi berbanding terbalik dengan parameter dimensi antenna. Oleh karena itu, untuk menggeser nilai koefisien refleksi ke frekuensi kerja, dilakukan penambahan dimensi antenna. Dimensi 171 mm x 160,5 mm dipilih karena meskipun nilai koefisien refleksinya masih kurang memadai, tetapi jika dilihat dari bentuk sinyalnya, antenna tersebut tergolong *multiband* dan tidak terjadi fluktuasi yang sangat tajam.

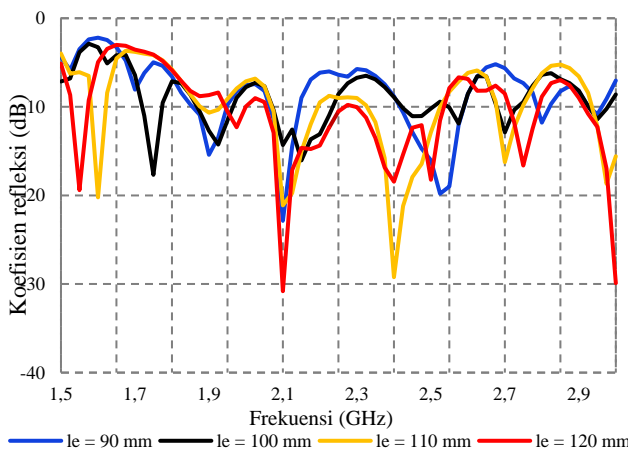
Jika diukur dari parameter koefisien refleksi, lebar pita merupakan daerah frekuensi yang nilai koefisien refleksinya kurang dari -10 dB. Dari hasil simulasi, antenna SIW dengan dimensi 171 mm x 160,5 mm belum mencapai nilai koefisien refleksi kurang dari -10 dB pada frekuensi yang diinginkan. Oleh karena itu, optimasi antenna dengan teknik DGS diterapkan pada langkah selanjutnya untuk memperbaiki nilai koefisien refleksi yang berakibat pada pelebaran pita frekuensi antenna.

Variabel pertama yang dioptimasi adalah panjang *slot split ring* berbentuk persegi panjang ( $l_s$ ). Panjang *slot* bervariasi mulai dari 90 mm, 100 mm, sampai 120 mm. Berdasarkan hasil simulasi pada Gbr. 6, penambahan *slot split ring* berbentuk persegi panjang ini dapat menurunkan nilai koefisien refleksi sampai di bawah -10 dB, walaupun pada daerah frekuensi tertentu masih ada nilai koefisien refleksi di atas -10 dB. Seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 5, semakin panjang *slot*, frekuensi semakin bergeser ke kiri atau ke arah frekuensi lebih rendah. Panjang *slot* sebesar 120 mm dipilih karena nilai koefisien refleksinya relatif berada di bawah -10 dB dibandingkan dengan yang lainnya.

Setelah mendapatkan ukuran panjang *slot*, selanjutnya dilakukan perubahan pada lebar *slot split ring* berbentuk



Gbr. 5 Hasil simulasi dimensi antenna SIW.

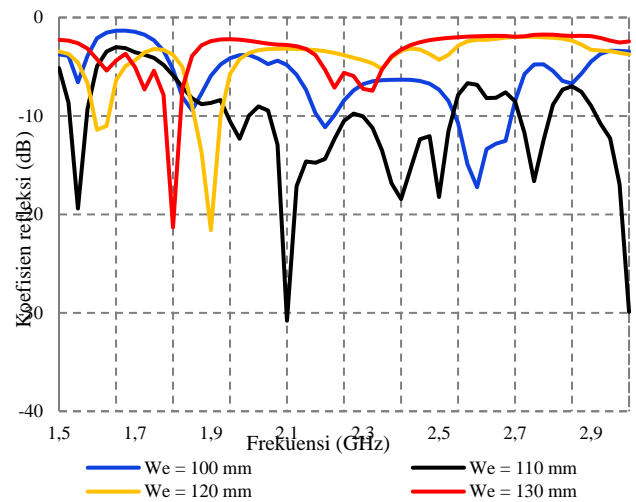


Gbr. 6 Pengaruh perubahan panjang slot split ring berbentuk persegi terhadap nilai koefisien refleksi.

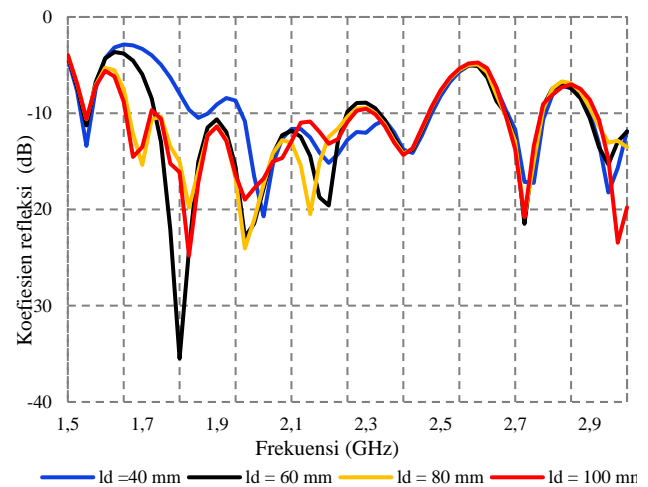
persegi panjang ( $w_e$ ). Lebar slot divariasikan dari 100 mm hingga 130 mm dengan interval sebesar 10 mm. Dari hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gbr. 7, lebar slot sebesar 110 mm memperoleh nilai koefisien refleksi kurang dari -10 dB yang paling baik pada rentang frekuensi yang diamati dibanding ukuran lainnya. Oleh karena itu, dimensi slot split ring berbentuk persegi panjang sebesar 120 mm  $\times$  110 mm dipilih untuk dilakukan optimasi selanjutnya.

Slot split ring berbentuk persegi panjang ternyata belum dapat meningkatkan lebar pita secara optimal, tetapi dapat menggeser frekuensi resonansi ke arah frekuensi yang diinginkan. Oleh karena itu, slot silang yang membentuk huruf X ditambahkan di bagian tengah slot split ring berbentuk persegi, dengan harapan dapat memperbaiki nilai koefisien refleksi dari studi parameter sebelumnya.

Perubahan variabel yang diamati selanjutnya adalah panjang slot bentuk silang ( $l_d$ ). Panjang slot bervariasi dari 40 mm, 60 mm, 80 mm, dan 100 mm, dan lebar slot diinisialisasi sebesar 5 mm. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gbr. 8, perubahan panjang slot berpengaruh pada pergeseran frekuensi resonansi, yaitu semakin panjang slot, frekuensi resonansi semakin bergeser ke arah frekuensi yang lebih rendah. Oleh karena itu, panjang slot sebesar 100 mm



Gbr. 7 Pengaruh perubahan lebar slot split ring berbentuk persegi panjang terhadap nilai koefisien refleksi.



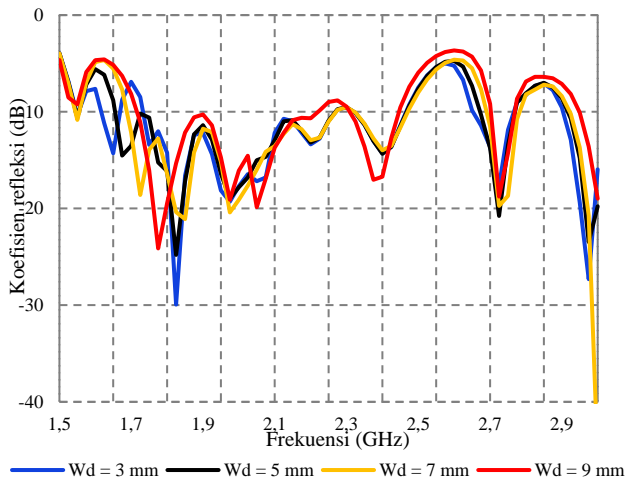
Gbr. 8 Pengaruh perubahan panjang slot bentuk silang terhadap nilai koefisien refleksi.

dipilih karena mendekati frekuensi kerja yang diinginkan dan memiliki nilai koefisien refleksi di bawah -10 dB yang baik.

Parameter terakhir yang diamati adalah lebar slot yang berbentuk silang ( $w_a$ ). Lebar slot juga divariasikan mulai dari 3 mm, 5 mm, 7 mm, dan 9 mm. Seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 9, semakin lebar slot, frekuensi semakin bergeser ke arah yang lebih tinggi dan nilai koefisien refleksi pada daerah frekuensi resonansi semakin turun di bawah -10 dB. Lebar slot sebesar 5 mm dipilih karena frekuensi resonansi jatuh pada frekuensi 1,675 GHz dan nilai koefisien refleksinya cenderung di bawah -10 dB. Dari studi parameter pada masing-masing variabel fisik antenna yang telah dilakukan, didapatkan dimensi akhir antenna SIW dengan DGS yang disajikan pada Tabel I.

### III. KARAKTERISASI ANTENA

Berdasarkan hasil studi parameter pada subbagian sebelumnya, karakteristik antenna SIW tanpa DGS dibandingkan dengan karakteristik antenna SIW dengan DGS, ditinjau dari parameter koefisien refleksi, gain, dan pola radiasinya. Perbandingan nilai koefisien refleksi antenna SIW tanpa dan



Gbr. 9 Pengaruh perubahan lebar slot bentuk silang terhadap nilai koefisien refleksi.

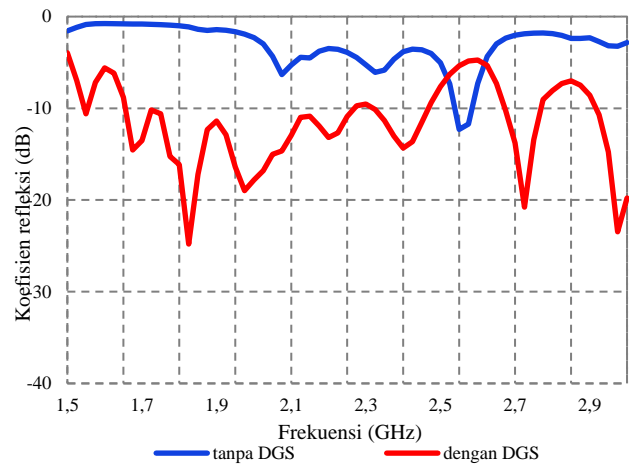
TABEL I  
VARIABEL FISIK DESAIN ANTENA SIW

Parameter	Nilai (mm)
Panjang SIW ( $L_s$ )	171
Lebar SIW ( $W_s$ )	160,5
Lebar patch nontembaga ( $e$ )	9,5
Diameter via ( $d_v$ )	2
Pitch ( $p_v$ )	4
Panjang saluran pencatu ( $L_f$ )	51
Lebar saluran pencatu ( $w_f$ )	1,8
Panjang slot split ring persegi panjang ( $l_e$ )	120
Lebar slot split ring persegi panjang ( $w_e$ )	110
Gap slot split ring persegi panjang ( $g_e$ )	1
Panjang slot bentuk silang ( $l_d$ )	100
Lebar slot bentuk silang ( $w_d$ )	5

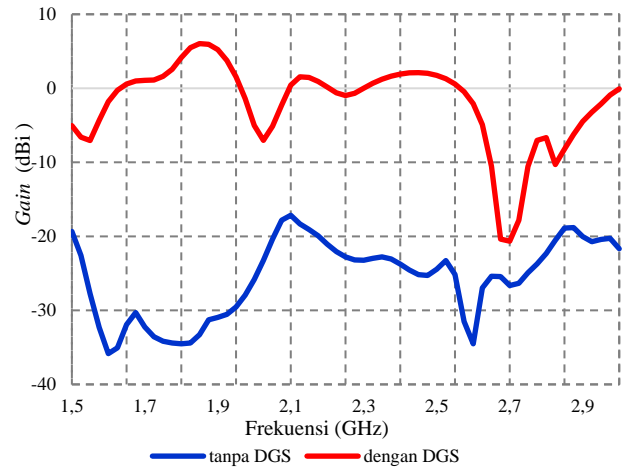
dengan DGS ditunjukkan pada Gbr. 10. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna SIW dengan DGS memiliki *matching impedance* yang baik, yang ditandai dengan nilai koefisien refleksi di bawah -10 dB untuk rentang frekuensi 1,675 GHz sampai 2,25 GHz, atau dengan kata lain lebar pita sebesar 575 MHz. Sementara itu, antenna SIW tanpa DGS hanya menghasilkan koefisien refleksi di bawah -10 dB pada rentang 2,55 GHz sampai 2,575 GHz, atau lebar pita 25 MHz.

Jika ditinjau dari parameter *gain*, antenna SIW tanpa DGS menghasilkan *gain* lebih rendah dibandingkan antenna SIW dengan DGS yang menunjukkan *gain* di atas 5 dBi. Seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 11, pada rentang frekuensi yang diamati, *gain* maksimal yang terukur adalah sebesar 6,03 dBi pada frekuensi 1,85 GHz untuk antenna SIW dengan DGS. Pada frekuensi yang sama, antenna SIW tanpa DGS menghasilkan *gain* sebesar -33 dBi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kombinasi slot pada *ground plane* juga mampu memperbaiki parameter *gain* antenna SIW.

Jika dibandingkan antara grafik parameter koefisien refleksi dengan grafik parameter *gain* terhadap frekuensi yang tertera pada Gbr. 10 dan Gbr. 11, antenna SIW tanpa DGS memiliki nilai koefisien refleksi yang lebih kecil daripada antenna SIW dengan DGS pada frekuensi sekitar 2,6 GHz. Namun, pada



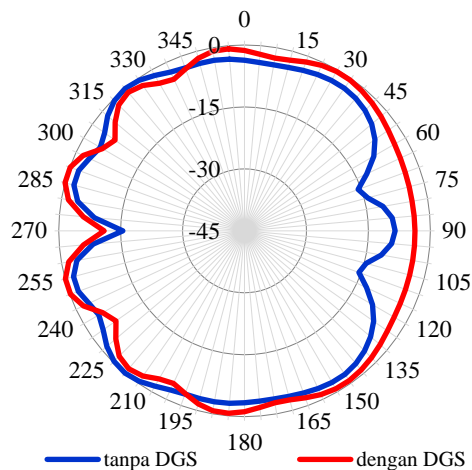
Gbr. 10 Perbandingan hasil simulasi nilai koefisien refleksi antenna SIW tanpa dan dengan DGS.



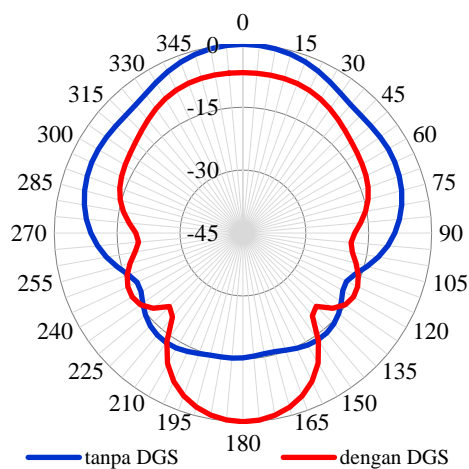
Gbr. 11 Perbandingan hasil simulasi *gain* antenna SIW tanpa dan dengan DGS.

frekuensi yang sama, nilai *gain* untuk antenna SIW tanpa DGS lebih rendah daripada antenna SIW dengan DGS. Dengan kata lain, perbaikan parameter koefisien refleksi tidak selalu disertai perbaikan parameter *gain*, karena hal tersebut dapat disebabkan oleh redaman (*loss*) yang besar. Nilai koefisien refleksi yang semakin kecil berarti gelombang yang dipantulkan kembali ke sumber mengecil. Adapun untuk kasus antenna dengan DGS, terjadi pembagian daya ke arah *main lobe* dan *back lobe*, sehingga daya yang diradiasikan arah *main lobe* (radiator) berkurang.

Perbaikan parameter lebar pita dan *gain* ternyata berpengaruh pada pola radiasi antenna SIW yang dirancang. Pola radiasi antenna bergantung pada bentuk, susunan, atau teknik pencatumannya. Hasil simulasi untuk pola radiasi arah azimut dan arah elevasi yang ternormalisasi ditunjukkan pada Gbr. 12 dan Gbr. 13 secara berurutan. Keberadaan slot pada *ground plane* menyebabkan antenna memiliki pola radiasi *bidirectional*. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, DGS menyebabkan gelombang mengalami kebocoran (*leaky wave*) dari arah *ground plane*, terlihat dari *back lobe* antenna yang cukup besar. Akibatnya, antenna yang dirancang memancarkan



Gbr. 12 Hasil simulasi pola radiasi azimuth ternormalisasi untuk antenna SIW yang dirancang.



Gbr. 13 Hasil simulasi pola radiasi elevasi ternormalisasi untuk antenna SIW yang dirancang.

gelombang pada dua arah, yaitu dari arah radiator (*patch*) sebagai elemen peradiasi dan dari arah *ground plane* melalui DGS.

#### IV. KESIMPULAN

Proses desain, simulasi, dan studi parameter antenna SIW dengan teknik DGS yang beroperasi pada frekuensi *L-band* telah dipaparkan pada makalah ini. Berdasarkan hasil simulasi dengan teknik DGS, lebar pita antenna SIW dapat ditingkatkan dengan perolehan koefisien refleksi di bawah -10 dB untuk rentang frekuensi 1,675 GHz hingga 2,25 GHz. Sementara itu, *gain* yang dihasilkan oleh antenna SIW dengan DGS lebih besar jika dibandingkan dengan antenna SIW tanpa DGS. Antena SIW dengan DGS memiliki pola radiasi *bidirectional* akibat adanya kebocoran (*leaky wave*) melalui DGS dari arah *ground plane*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Sdr. Zenal Aripin atas bantuannya selama proses pengukuran antenna di Laboratorium

Telekomunikasi dan Gelombang Mikro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung.

#### REFERENSI

- [1] G.Q. Luo, Z.F. Hu, L.X. Dong, dan L.L. Sun, "Planar Slot Antenna Backed by Substrate Integrated Waveguide Cavity," *IEEE Antennas Wireless Propag. Letters.*, Vol. 7, hal. 236-239, Apr. 2008.
- [2] F. Xu dan K. Wu, "Guided-wave and Leakage Characteristics Substrate Integrated Waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 53, hal. 66-73, Jan. 2005.
- [3] H. Uchimura, T. Takenoshita, dan M. Fujii, "Development of a Laminated Waveguide," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.*, Vol. 46, No. 12, hal. 2438-2443, Des. 1998.
- [4] J. Hirokawa dan M. Ando, "Single-layer Feed Waveguide Consisting of Posts for Plane TEM Wave Excitation in Parallel Plates," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 46, No. 5, hal. 625-630, Mei 1998.
- [5] M. Awida, S. Suleiman, dan A. Fathy, "Substrate-Integrated Cavity-Backed Patch Arrays: A Low-Cost Approach for Bandwidth Enhancement," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 59, No. 4, hal. 1155-1163, Jan. 2011.
- [6] M. Chen, W. Che, dan S. He, "Bandwidth Enhancement of Substrate Integrated Waveguide (SIW) Slot Antenna with Parasitic Dipole," *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference*, 2011, hal. 566-569.
- [7] S. Yun, D.Y. Kim, dan S. Nam, "Bandwidth Enhancement of Cavity-backed Slot Antenna Using a Via-hole Above the Slot," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, hal. 1092-1095, Agt. 2012.
- [8] S. Yun, D.Y. Kim, dan S. Nam, "Bandwidth and Efficiency Enhancement of Cavity-backed Slot Antenna Using a Substrate Removal," *IEEE Antennas and Wireless Propag. Letters*, Vol. 11, hal. 1458-1461, Nov. 2012.
- [9] M.M. Ulfah, Chairunnisa, dan A. Munir, "Bandwidth Enhancement of Substrate Integrated Waveguide Cavity-backed Slot Antenna," *Proceedings of 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 2017, hal. 90-93.
- [10] G.Q. Luo, Z.F. Hu, W.J. Li, X.H. Zhang, L.L. Sun dan J.F. Zheng, "Bandwidth-enhanced Low-profile Cavity-backed Slot Antenna by Using Hybrid SIW Cavity Modes," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 60, No. 4, hal. 1698-1704, Apr. 2012.
- [11] A. Nouri dan G.R. Dadashzadeh, "A Compact UWB Band-Notched Printed Monopole Antenna with Defected Ground Structure," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, hal. 1178-1181, Okt. 2011.
- [12] M.M. Ulfah, Chirunnisa, A.H. Wahyudi, dan A. Munir, "Slot and DGS Incorporation for Bandwidth Enhancement of Substrate Integrated Waveguide Antenna," *2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama)*, 2018, hal. 1838-1841.
- [13] B.J. Niu dan J.H. Tan, "Bandwidth Enhancement of Low-profile SIW Cavity Antenna with Bilateral Slots," *Progress in Electromagnetics Research Letters*, Vol. 82, hal. 25-32, 2019.
- [14] Chairunnisa, M.M. Ulfah, A.A. Ginting, dan A. Munir, "Proximity-Coupled Multiband Substrate Integrated Waveguide Antenna with Defected Ground Structure," *Proc. of 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 2018, hal.1-4.
- [15] D.M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3<sup>rd</sup> ed., Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [16] Y.J. Cheng, *Substrate Integrated Antennas and Arrays*, London, UK: CRC Press, 2016.
- [17] G.Q. Luo, W. Hong, Q.H. Lai, K. Wu, dan L.L. Sun, "Design and Experimental Verification of Thin Frequency Selective Surface with Quasielliptic Bandpass Response," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 55, No. 12, hal. 2481-2487, Des. 2007.